

# BOLETÍN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458-7766

VOLUMEN 34, Número 1



Enero - Junio 2019  
Callao, Perú



PERÚ

Ministerio  
de la Producción

# CARACTERÍSTICAS DE EL NIÑO COSTERO 2017 MEDIANTE OBSERVACIÓN SATELITAL

## CHARACTERISTICS OF THE EL NIÑO COSTERO 2017 THROUGH SATELLITE OBSERVATIONS

Carlos Paulino<sup>1</sup>

Luis Escudero<sup>1</sup>

Edward Alburquerque<sup>1</sup>

Han Xu<sup>1</sup>

### RESUMEN

PAULINO C, ESCUDERO L, ALBURQUEQUE E, XU H. 2019. *Características de El Niño costero 2017 mediante observación satelital*. *Bol Inst Mar Perú*. 34(1): 91-104.- Se presenta un estudio del evento "El Niño Costero 2017" a través del análisis de información satelital de la Temperatura Superficial de Mar (TSM), su anomalía (ATSM) y vientos superficiales del mar peruano desde diciembre 2016 hasta abril 2017 y de los eventos El Niño extraordinario de 1982-1983 y 1997-1998. El análisis de las variables evidenció que desde diciembre 2016 a inicios de febrero del 2017 las condiciones térmicas del mar no presentaban condiciones para el desarrollo de un evento El Niño; sin embargo, durante marzo 2017 la TSM alcanzó valores históricos  $>28$  °C a 10 mn frente a Chimbote, temperaturas que no se presentaron durante los eventos El Niño 1982-83 y 1997-98. El Niño Costero se caracterizó por un rápido incremento de la TSM en un corto periodo de tiempo (aproximadamente un mes), influenciado por la alta variabilidad de los vientos superficiales. La ATSM registró valores de  $+4$  °C en toda la región costera norte de Chimbote a Paita hasta más de 100 mn y de  $+5$  °C frente a Trujillo durante marzo, lo que demuestra la magnitud del evento. Estos valores estuvieron asociados a la disminución de la intensidad del viento superficial que presentó valores  $<4$  m/s entre  $0^{\circ}$  y  $11^{\circ}$ S de enero a marzo del 2017, que favoreció el avance hacia la costa de masas de Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) y el posterior calentamiento anómalo superficial del mar.

PALABRAS CLAVE: El Niño Costero, TSM, viento superficial del mar, El Niño, Perú

### ABSTRACT

PAULINO C, ESCUDERO L, ALBURQUEQUE E, XU H. 2019. *Characteristics of the El Niño Costero 2017 through satellite observations*. *Bol Inst Mar Peru*. 34(1): 91-104.- A study of the "El Niño Costero 2017" event is presented through the analysis of satellite information on Sea Surface Temperature (SST), its anomalies (SSTA), and surface winds of the Peruvian sea from December 2016 to April 2017 as well as the extraordinary El Niño events of 1982-1983 and 1997-1998. The analysis of the variables showed that from December 2016 until early February 2017 the thermal conditions of the sea did not present conditions for the development of an El Niño event; however, in March 2017, SST reached historical values  $>28$  °C at 10 nm off Chimbote, temperatures that did not occur during the El Niño events of 1982-83 and 1997-98. El Niño Costero was characterized by a rapid increase in SST in a short period of time (approximately one month), which was influenced by the high variability of surface winds. SSTA recorded values of  $+4$  °C in the entire northern coastal region from Chimbote to Paita up to more than 100 nm and  $+5$  °C off Trujillo in March, which demonstrates the scale of the event. These values were associated to the decrease in the intensity of the surface wind that presented values  $<4$  m/s between  $0^{\circ}$  and  $11^{\circ}$ S from January to March 2017, which favored the approximation of Surface Equatorial Waters (SEW) masses towards the coast and the subsequent anomalous sea surface warming.

KEYWORDS: El Niño Costero, SST, Peru, sea surface winds, El Niño, Peru

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años el conocimiento acerca del evento El Niño se ha incrementado debido al desarrollo de la tecnología satelital, la cual ha permitido monitorear el océano y la atmósfera con mayor resolución tanto temporal como espacial, con lo cual se han desarrollado diversos modelos numéricos que pretenden pronosticar este evento.

## 1. INTRODUCTION

Over the past few years, our knowledge about the El Niño event has increased due to the development of satellite technology, which has allowed us to monitor the ocean and the atmosphere with higher temporal and spatial resolution, thus we have developed several numerical models that predict this event.

<sup>1</sup> IMARPE, DGIHSA, Área Funcional de Sensoramiento Remoto, Av. Argentina 2245 - Callao, Perú.  
cpaulino@imarpe.gob.pe

La definición de “El Niño” está relacionado con el calentamiento periódico de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en la zona Ecuatorial Central y Oriental del Pacífico, principalmente en la costa norte del Perú. La Administración Nacional para el Océano y la Atmósfera de los Estados Unidos de Norteamérica (NOAA) utiliza el Índice Oceánico El Niño (ONI) para la identificación de El Niño, cuya definición es: *“Fenómeno en el Océano Pacífico Ecuatorial caracterizado por una temperatura positiva de la superficie del mar que se aleja de la normal (para el período de base 1971-2000) en la región Niño 3.4 (120° a 170°W, 5°N a 5°S) mayor o igual en magnitud a 0,5 °C promediados durante tres meses consecutivos”* (NOAA 2003).

De acuerdo al ENFEN (Comité Técnico del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño), se denomina “Evento El Niño en la región costera de Perú” o “El Niño costero” al período en el cual el Índice Costero El Niño (ICEN), que es la media corrida de tres meses de las anomalías mensuales de la TSM en la región Niño 1+2, indique “condiciones cálidas” ( $>+0,4$  °C) durante al menos tres (3) meses consecutivos (ENFEN 2012).

La diferencia entre el “El Niño” y el “El Niño Costero” es que el primero tiene impacto global y el segundo se presenta solo frente a la costa norte de Perú y Ecuador con la incursión de aguas cálidas no tan profundas. De hecho, el 2017 comenzó como un año de “La Niña”, con las temperaturas del océano en el Pacífico central y oriental por debajo de la media, tal como refiere el Centro de Predicción Climática de la NOAA (DI LIBERTO 2017). Sin embargo, las temperaturas en la región Niño 1+2 comenzaron a incrementarse considerablemente desde mediados de febrero, lo que originó el evento El Niño Costero 2017 ocasionando fuertes lluvias, desbordes e inundaciones en la zona norte y centro del Perú.

Recientemente, TAKAHASHI y MARTÍNEZ (2017) publicaron el impacto de El Niño Costero muy fuerte del año 1925 frente al Perú, el cual es considerado como el tercer evento más fuerte del siglo XX, que está asociado a fuertes lluvias e inundaciones en el norte del Perú y Ecuador durante febrero a abril, basado en las

The definition of the “El Niño” is related to the periodic warming of the Sea Surface Temperature (SST) in the Central and Eastern Equatorial Zone of the Pacific Ocean, mainly on the northern coast of Peru. The National Oceanic and Atmospheric Administration of the United States of America (NOAA) uses the Oceanic Niño Index (ONI) for the identification of the El Niño, whose definition is: *“A phenomenon in the equatorial Pacific Ocean characterized by a positive sea surface temperature departure from normal (for the 1971-2000 base period) in the Niño 3.4 region greater than or equal in magnitude to 0.5 degrees C (0.9 degrees Fahrenheit), averaged over three consecutive months”* (NOAA 2003).

As stated by ENFEN (Technical Committee of the National Study of the El Niño Phenomenon), the period in which the El Niño Costero Index (ENCI), which is the three-month average cumulative of the monthly SST anomalies in the Niño 1+2 region, indicates “warm conditions” ( $>+0.4$  °C) for at least three (3) consecutive months is called “El Niño event in the coastal region of Peru” or “El Niño Costero” (ENFEN 2012).

The difference between the “El Niño” and the “El Niño Costero” is that the former has a global impact and the latter occurs only off the northern coast of Peru and Ecuador with the incursion of shallow warm waters. In fact, 2017 began as a “La Niña” year, with ocean temperatures in the central and eastern Pacific below average, as reported by NOAA’s Climate Prediction Center (DI LIBERTO 2017). Nonetheless, since mid-February, temperatures in the Niño 1+2 region began to increase considerably, which led to the El Niño Costero 2017 which caused heavy rains, overflows, and floods in northern and central Peru.

Recently, TAKAHASHI & MARTÍNEZ (2017) published the impact of the El Niño Costero 1925, which was very strong, off Peru and which is considered the third strongest event of the 20th century, associated with heavy rains and floods in northern Peru and Ecuador from February to April, which was

teleconexiones entre las condiciones frías del Pacífico Ecuatorial Central y la desestabilización de la Zona de Convergencia Intertropical oceano-atmosférica que ayudó al desarrollo de fuertes lluvias.

Los efectos de El Niño Costero 2017 superaron largamente a los eventos extraordinarios El Niño 1982-83 y 1997-98. De acuerdo al Centro de Operaciones de Emergencia Nacional del Perú (COEN) el número de víctimas alcanzo a 114 personas, registrándose 185.873 personas damnificadas, 1'081.893 personas afectadas y la destrucción de puentes y carreteras. Según los cálculos del Ministerio de Economía y Finanzas del Perú las cifras de la reconstrucción podrían superar los 15 mil millones de dólares norteamericanos.

Este trabajo de investigación hace un análisis descriptivo de la formación y desarrollo del evento El Niño Costero 2017 frente a la costa peruana, utilizando información satelital de TSM, ATSM y vientos superficiales para el periodo diciembre 2016 - abril 2017, los cuales se compararon con los eventos El Niño Extraordinario de 1982-83 y 1997-98.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### Información satelital

La información satelital de TSM y ATSM utilizada proviene de la base de datos publicada por la *National Climatic Data Center* (NCDC) de la NOAA (REYNOLDS *et al.* 2007). Estos datos con un nivel de procesamiento L4 poseen una resolución espacial de 25 km. <https://www.ncei.noaa.gov/thredds/catalog/OisstBase/NetCDF/AVHRR/catalog.html>

La información de vientos es obtenida a través del escaterómetro ASCAT a bordo de los satélites METOP, fue obtenida de los servidores del Instituto de Investigación Francés para la Exploración del Mar (IFREMER). El escaterómetro mide la velocidad y la dirección del viento a una altura promedio de 10 metros y tiene una resolución espacial de 25 km. <ftp://ftp.ifremer.fr/ifremer/cersat/products/gridded/mwf-ascat/data/daily/Netcdf/>

based on the teleconnections between the cold conditions of the Central Equatorial Pacific and the destabilization of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) that contributed to the development of heavy rains.

The effects of the El Niño Costero 2017 far outweighed the Extraordinary El Niño events of 1982-83 and 1997-98. According to the National Emergency Operations Center of Peru (COEN in Spanish), the number of victims reached 114 people, amounting to 185,873 victims; a total of 1'081,893 people were affected and bridges and roads were destroyed. The estimates of the Ministry of Economy and Finance of Peru indicate that the reconstruction figures could exceed US\$15 billion.

This research work makes a descriptive analysis of the formation and development of the El Niño Costero 2017 off the Peruvian coast, by using satellite information on SST, SSTA, and surface winds for the December 2016 - April 2017 period, which were compared with the El Niño Extraordinary events of 1982-83 and 1997-98.

## 2. MATERIAL AND METHODS

### Satellite information

The SST and SSTA satellite information used comes from the database published by NOAA's National Climatic Data Center (NCDC) (REYNOLDS *et al.* 2007). These data, with an L4 processing level, have a spatial resolution of 25 km. <https://www.ncei.noaa.gov/thredds/catalog/OisstBase/NetCDF/AVHRR/catalog.html>

The wind information is obtained through the ASCAT scatterometer mounted on the METOP satellites, and it was obtained from the servers of the French Research Institute for the Exploration of the Sea (IFREMER). The scatterometer measures the wind speed and direction at a mean height of 10 meters and at 25 km spatial resolution. <ftp://ftp.ifremer.fr/ifremer/cersat/products/gridded/mwf-ascat/data/daily/Netcdf/>

Se utilizó información de TSM del proyecto Multi-scale *Ultra-high Resolution Sea Surface Temperature* (MUR-SST) de 1 km de resolución, distribuido por el *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) de la NASA (<https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/JPL-L4UHfnd-GLOB-MUR>). Asimismo, se utilizó la información de TSM del satélite NPP (750 m) recepcionado y procesado por la estación receptora de imágenes satelitales TERASCAN del IMARPE ([http://mapserver.imarpe.gob.pe/?q=temperatura\\_superficial\\_de\\_mar\\_suomi\\_npp](http://mapserver.imarpe.gob.pe/?q=temperatura_superficial_de_mar_suomi_npp)).

Para el estudio con mayor detalle se estimó la TSM usando los canales térmicos del satélite Landsat-8 con resolución espacial de 30 metros, para el área comprendida entre Salaverry a Chimbote. Esta imagen se descargó del portal web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) <https://glovis.usgs.gov/>.

### Método

El Área de estudio comprendió desde el paralelo 0° al 22° sur y desde la costa hasta el meridiano 86° oeste. Se procesó y analizó información de diciembre a abril de los años 1982-83, 1997-98 y 2016-17, siendo los dos primeros periodos correspondientes a los eventos Niños Extraordinarios con la finalidad de realizar la comparación de estos eventos.

Se realizó un análisis regional con información diaria y promedios mensuales de TSM de 25 km de resolución para describir la variabilidad espacial enfocada en la zona centro-norte (0° a 13°S) debido a que esa zona registró los mayores impactos del "Niño Costero". Asimismo, se analizó a través de diagramas de Hovmöller el impacto del calentamiento del mar a distancias de 25, 50 y 100 millas náuticas desde la costa.

Para el análisis zonal se usaron imágenes de alta resolución como Landsat 8, VIIRS-NPP y MUR con la finalidad de comparar la intensidad del calentamiento del mar durante marzo del 2017. Esta información se complementó con datos de temperatura de mar de la estación fija del Laboratorio Costero de Huanchaco del Instituto del Mar del Perú con el propósito de identificar el inicio de este evento anómalo con datos *in situ*.

SST information from the 1 km resolution Multi-scale *Ultra-high Resolution Sea Surface Temperature* (MUR-SST) project, distributed by NASA's *Jet Propulsion Laboratory* (JPL), was used (<https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/JPL-L4UHfnd-GLOB-MUR>). The SST information from the NPP satellite (750 m) which was received and processed by IMARPE's TERASCAN satellite image receiving station was also used ([http://mapserver.imarpe.gob.pe/?q=temperatura\\_superficial\\_de\\_mar\\_suomi\\_npp](http://mapserver.imarpe.gob.pe/?q=temperatura_superficial_de_mar_suomi_npp)).

For the in-depth study, SST was estimated using the thermal channels of the Landsat-8 satellite with a spatial resolution of 30 meters for the area between Salaverry and Chimbote. This image was downloaded from the U.S. Geological Survey website (USGS) <https://glovis.usgs.gov/>.

### Method

The Study Area covered from parallel 0° to 22° south and from the coast to meridian 86° west. Information was processed and analyzed from December to April 1982-83, 1997-98, and 2016-17, with the first two periods corresponding to the Extraordinary El Niño events in order to compare these events.

Regional analysis was conducted with daily information and monthly averages of SSTs at 25 km resolution to describe the spatial variability focused on the central-north zone (0° to 13°S) because that zone registered the greatest impacts of the "El Niño Costero". Also, the impact of sea warming at distances of 25, 50, and 100 nautical miles from the coast was analyzed through Hovmöller diagrams.

For the zonal analysis high-resolution images such as Landsat 8, VIIRS-NPP, and MUR were used to compare the intensity of sea warming in March 2017. This information was complemented with sea temperature data from the fixed station of the Huanchaco Coastal Laboratory of the Instituto del Mar del Perú (Alternative: Peruvian Marine Institute) to identify the beginning of this anomalous event with *in situ* data.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Temperatura Superficial de Mar (TSM)

Se presentan promedios mensuales de TSM del mar peruano de enero a abril durante los años 1983, 1998 y 2017 (Fig. 1). Si bien el “Niño Costero 2017” no presentó las características térmicas de los eventos Niños Extraordinarios, es importante analizar la variabilidad mensual de la TSM como indicador para caracterizar al calentamiento del mar denominado “Niño Costero”.

Los promedios mensuales de TSM en los tres periodos estudiados indican que los máximos valores se presentan en el mes de marzo. Durante marzo de 1983 la isoterma de 28 °C alcanzó una distancia de costa de 60 mn frente a Chimbote (línea negra); en 1998 se localizó por fuera de las 100 mn, mientras que en marzo 2017 la isoterma de 28 °C tuvo una configuración paralela a la costa desde Punta La Negra hasta Chimbote acercándose hasta 30 mn de la costa, observándose además que la isoterma de 29 °C alcanzó una distancia de 60 mn frente a Paita, lo cual evidencia que este mes fue el más intenso de los últimos 30 años frente a la costa norte (Fig. 1).

A nivel costero durante enero del 2017 los valores de TSM fluctuaron de 21 a 25 °C, mientras que en febrero los valores de TSM fluctuaron de 21 a 26 °C; sin embargo, durante enero y febrero de los periodos El Niño la TSM fluctuó de 24 a 26 °C y de 25 a 27 °C, respectivamente (Fig. 1). De acuerdo a lo descrito anteriormente, durante los meses de enero y febrero del 2017 la TSM mostraba condiciones cercanas a lo normal, e incluso el comunicado ENFEN 04-2017 preveía la continuación del evento El Niño Costero de magnitud débil al menos hasta marzo inclusive (ENFEN 2017).

De acuerdo a las observaciones diarias de TSM en la zona norte (Fig. 2a), desde el 14 de febrero se inicia un rápido incremento de las temperaturas, el cual alcanzó el nivel de los eventos Niño Extraordinario el 19 de febrero, esto también se evidenció en la región Niño 1+2 (Fig. 2b). Posteriormente, los máximos valores de TSM (>29 °C) se registraron durante los días 17, 18 y 19 de marzo 2017, siendo estos los valores más altos registrados en la serie temporal de los datos AVHRR, contribuyendo a la evaporación y formación de nubes que originaron fuertes precipitaciones en la región costera de Piura, Lambayeque y La Libertad.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### Sea Surface Temperature (SST)

Monthly SST averages are presented for the Peruvian sea from January to April in 1983, 1998, and 2017 (Fig. 1). Although the “El Niño Costero 2017” did not present the thermal characteristics of the Extraordinary El Niño events, it is important to analyze the monthly variability of the SST as an indicator to characterize the warming of the sea called “El Niño Costero”.

The monthly averages of SST in the three studied periods indicate that the maximum values are presented in March. The isotherm of 28 °C reached a 60 nm distance from the coast off Chimbote (black line) in March 1983. In 1998, it was located outside 100 nm, while in March 2017 the 28 °C isotherm had a configuration that was parallel to the coast from Punta La Negra to Chimbote, and it was also observed that the 29 °C isotherm reached a distance of 60 nm off Paita, which shows that this month was the most intense of the last 30 years off the north coast (Fig. 1).

At the coastal level, in January 2017, SST values ranged from 21 to 25 °C, while in February, SST values oscillated from 21 to 26 °C. However, in January and February of the El Niño periods, SST fluctuated from 24 to 26 °C and from 25 to 27 °C, respectively (Fig. 1). As described above, in January and February 2017, SST showed conditions close to normal, and even the communiqué ENFEN 04-2017 foresaw that the El Niño Costero event, with a weak magnitude, would continue at least until March (ENFEN 2017).

From the daily SST observations in the northern zone (Fig. 2a), a rapid increase in temperatures began on February 14, which reached the levels of the Extraordinary El Niño events on February 19, this was also evident in the Niño 1+2 region (Fig. 2b). Subsequently, the maximum SST values (>29 °C) were recorded on 17, 18 and 19 March 2017, being the highest values recorded in the time series of AVHRR data, thus contributing to the evaporation and cloud formation that caused heavy rainfall in the coastal region of Piura, Lambayeque and La Libertad.



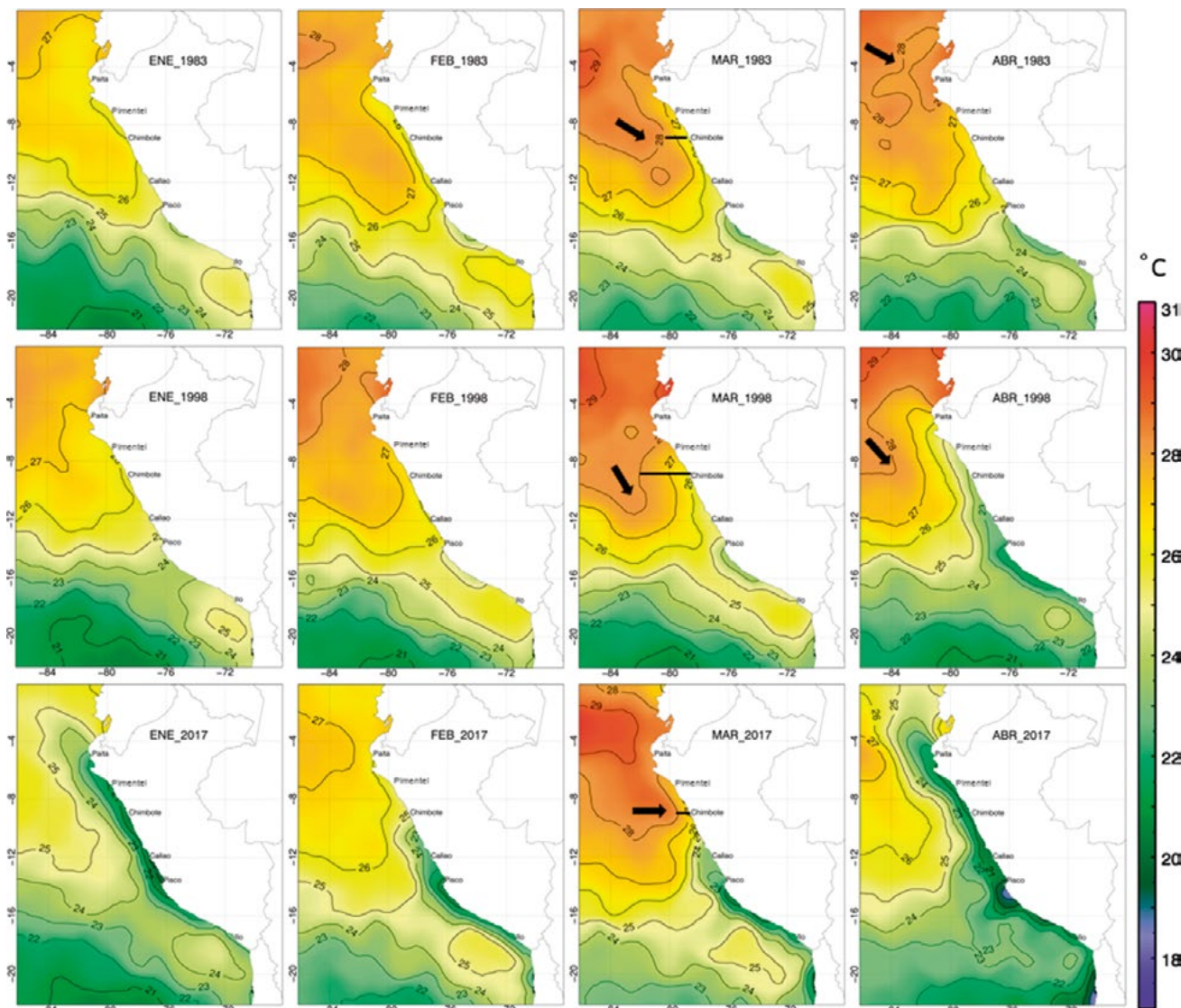


Figura 1.- Temperatura superficial de mar mensual en °C de enero a abril de los periodos El Niño Extraordinario 1982-1983, 1997-1998 y del Niño Costero 2017. Datos del AVHRR (OISSTv2) NCDC de la NOAA, procesados por AFSR-IMARPE  
 Figure 1. Monthly sea surface temperature in °C from January to April of the Extraordinary El Niño of 1982-1983, 1997-1998 and the El Niño Costero 2017 periods. NOAA’s NCDC AVHRR (OISSTv2) data, processed by AFSR-IMARPE

Durante la última semana de marzo se observó que las temperaturas >28 °C comenzaron a replegarse indicando el fin del evento El Niño Costero (Fig. 2a, b). Este rápido descenso de la TSM originó un gradiente térmico latitudinal que está representada por las flechas en el diagrama de Hovmöller de 25 mn (Fig. 3).

In the last week of March, it was observed that > 28 °C temperatures began to retreat, which indicated the end of the El Niño Costero event (Fig. 2a, b). This rapid decline of the SST resulted in a latitudinal thermal gradient that is represented by the arrows in the 25 nm Hovmöller diagram (Fig. 3).

El calentamiento durante marzo tuvo la característica de ser un evento de rápido incremento y descenso de la TSM en un corto periodo de tiempo en toda la costa. Estas características térmicas no fueron observadas durante los eventos 1982-83 y 1997-98. Por otro lado, la escasa documentación histórica de eventos similares no permitió una detección temprana de El Niño Costero.

The warm-up in March had the characteristic of being an event of rapid increase and decrease of the SST in a short period of time along the entire coast. These thermal characteristics were not observed during the 1982-83 and 1997-98 events. On the other hand, the scarce historical documentation of similar events did not allow early detection of the El Niño Costero event.

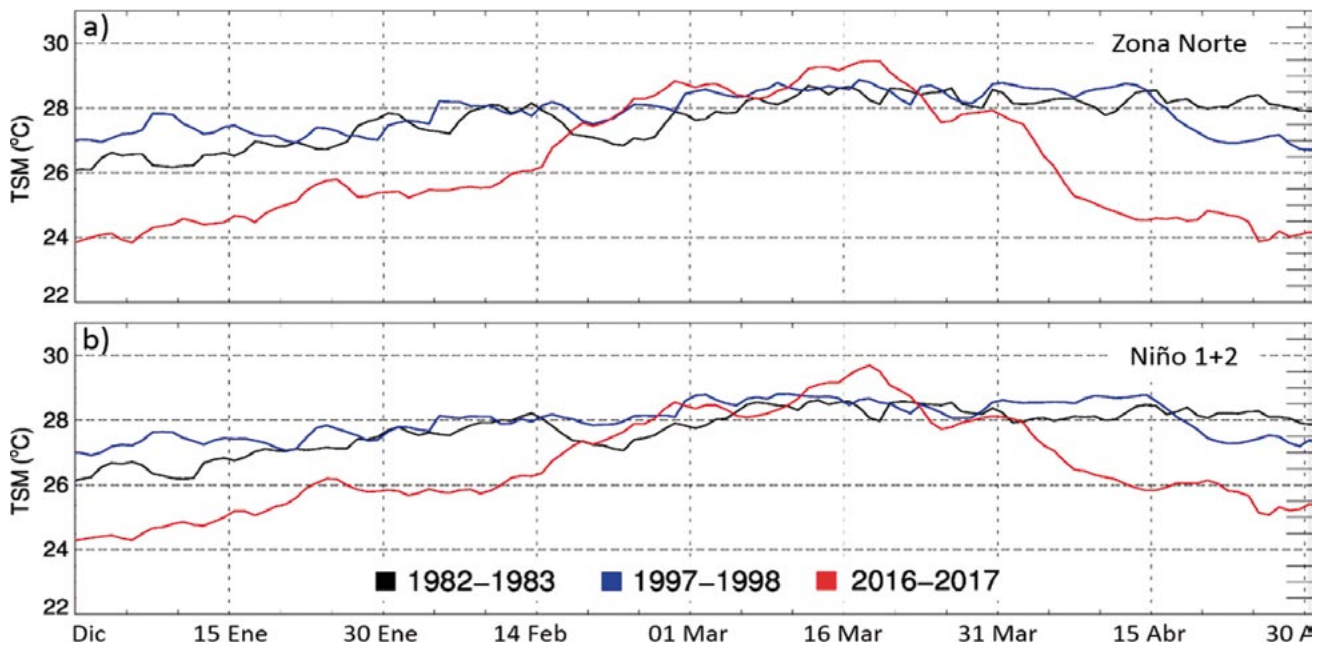


Figura 2.- Serie de tiempo diaria de la TSM en °C enero-abril de los periodos 1982-83, 1997-98 y 2017: (a) zona norte (0°-8°S, 86°W-79°W) y (b) región niño 1+2 (0°-10°S, 90°W-80°W). Fuente: AVHRR (OISSTv2)

Figure 2. Daily SST time series in °C for January-April periods of 1982-83, 1997-98 and 2017: (a) northern zone (0°-8°S, 86°W-79°W) and (b) El Niño 1+2 region (0°-10°S, 90°W-80°W). Source: AVHRR (OISSTv2)

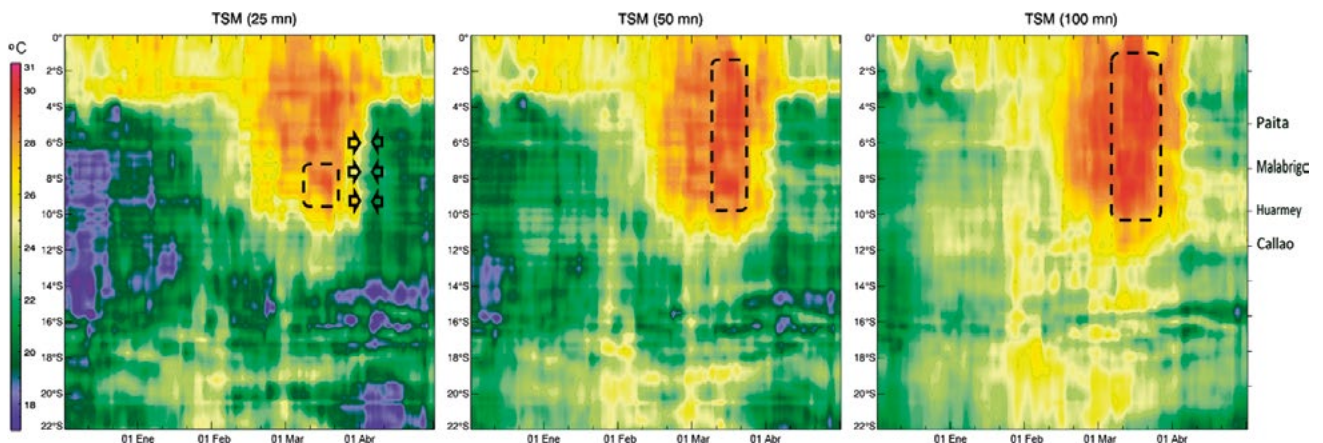


Figura 3.- Diagrama de Hovmöller de la TSM a 25, 50 y 100 millas náuticas desde la costa, desde diciembre a abril del 2017. Fuente: AVHRR (OISSTv2)

Figure 3. Hovmöller diagram of the SST at 25, 50 and 100 nautical miles from the coast, from December to April 2017. Source AVHRR (OISSTv2)

La Tabla 1, muestra valores puntuales en perfiles latitudinales de TSM diarios frente a Paita, Pimentel, Chimbote y Callao a 10, 20, 30, 50 y 60 millas náuticas de distancia a la costa. Los máximos valores de TSM en cada puerto se muestran en celdas con líneas punteadas, y las zonas más cálidas están sombreadas en color rojo. Frente a Paita la TSM fue >28,5 °C durante casi todo marzo, mientras que frente a Pimentel valores >27,5 °C alcanzaron las 20 mn. Chimbote registró un calentamiento zonal con valores >28 °C hasta una distancia de 10 mn (19 marzo), el cual no fue registrado frente a Pimentel.

Table 1 shows punctual values in latitudinal profiles of daily SST off Paita, Pimentel, Chimbote, and Callao at 10, 20, 30, 50, and 60 nautical miles from the coast. The maximum SST values on each port are shown in cells with dotted lines, and warmer zones are shaded in red. Off Paita, SST was >28.5 °C for most of March, while off Pimentel values >27.5 °C reached 20 nm. Chimbote recorded a zonal warm-up with values >28 °C up to a distance of 10 nm (19 March), which was not recorded off Pimentel.



Tabla 1.- Valores de TSM (°C) de puntos fijos a 10, 20, 30, 50 y 60 millas náuticas desde la costa frente a los puertos de Paíta, Pimentel, Chimbote y Callao durante marzo 2017. Fuente: AVHRR (OISSTv2)

Table 1. SST values (°C) of fixed points at 10, 20, 30, 50 and 60 nautical miles from the coast off the ports of Paíta, Pimentel, Chimbote, and Callao in March 2017. Source: AVHRR (OISSTv2)

Paíta (5°05' S - 81°06' W)							Pimentel (6°50' S - 79°56' W)						
60 mn	50 mn	30 mn	20 mn	10 mn	Dia		60 mn	50 mn	30 mn	20 mn	10 mn	Dia	
28.9	28.77	28.68	28.69	28.62	01/03/2017		29.01	28.81	28.44	28.02	27.56	01/03/2017	
29.12	28.87	28.54	28.23	28	05/03/2017		28.07	27.86	27.69	27.46	27.25	05/03/2017	
29.01	28.87	28.66	28.42	28.23	10/03/2017		29.47	29.19	28.84	28.39	27.8	10/03/2017	
29.79	29.58	29.28	29.01	28.8	15/03/2017		28.43	28.18	28.04	27.88	27.71	15/03/2017	
29.77	29.66	29.44	29.19	28.99	17/03/2017		28.86	28.51	28.16	27.79	27.49	17/03/2017	
29.91	29.79	29.57	29.26	29.06	18/03/2017		29.03	28.65	28.23	27.82	27.43	18/03/2017	
29.91	29.78	29.56	29.24	29.01	19/03/2017		29.07	28.67	28.23	27.8	27.42	19/03/2017	
29.84	29.59	29.23	28.87	28.7	20/03/2017		28.72	28.56	28.33	28.05	27.78	20/03/2017	
28.64	28.34	27.97	27.66	27.52	25/03/2017		26.16	26.1	26.07	26.11	26.11	25/03/2017	
27.98	28.08	27.99	27.69	27.41	30/03/2017		25.75	25.53	25.34	25.16	25.1	30/03/2017	

Chimbote (9°05' S - 78°34' W)							Callao (12°03' S - 77°07' W)						
60 mn	50 mn	30 mn	20 mn	10 mn	Dia		60 mn	50 mn	30 mn	20 mn	10 mn	Dia	
28.5	28.33	27.7	26.57	25.27	01/03/2017		24.93	24.57	24	23.36	22.93	01/03/2017	
28.74	28.41	27.58	26.51	25.58	05/03/2017		24.78	24.26	23.69	23.17	22.97	05/03/2017	
29.31	28.8	28.22	27.77	27.57	10/03/2017		24.75	24.2	23.84	23.66	23.68	10/03/2017	
29.25	28.7	27.94	27.08	26.45	15/03/2017		24.69	24.4	24.24	24.15	24.11	15/03/2017	
29.02	28.75	28.34	27.88	27.53	17/03/2017		24.87	24.14	23.59	23.33	23.4	17/03/2017	
29.08	28.91	28.64	28.3	27.99	18/03/2017		25.16	24.45	23.83	23.48	23.43	18/03/2017	
29.32	29.18	28.88	28.5	28.15	19/03/2017		24.94	24.28	23.71	23.39	23.34	19/03/2017	
28.63	28.18	27.67	26.94	26.4	20/03/2017		24.54	23.92	23.46	23.31	23.3	20/03/2017	
27.1	26.63	26.05	25.44	25.07	25/03/2017		22.88	22.31	22.13	22.3	22.58	25/03/2017	
26.93	26.64	26.4	26.22	26.18	30/03/2017		22.31	22.05	21.93	21.99	22.18	30/03/2017	

Los valores de TSM del perfil Callao (12°S) evidencian que el calentamiento costero del mar fue principalmente en la zona norte desde los 0° hasta los 11° sur, el cual está registrado en los diagramas de Hovmöller a 25, 50 y 100 millas náuticas (Fig. 3). En estos diagramas también se observa que este calentamiento anómalo tuvo la duración de un mes, aproximadamente.

A escala zonal, utilizando imágenes de mayor resolución espacial se observó en la imagen MUR (1 km) del 5 de marzo un núcleo de alta TSM (>29 °C) entre Malabrigo y Salaverry a 80 mn (Fig. 4), lo cual fue también registrado por las bandas térmicas de los satélites NPP (750 m) y Landsat 8 (30 m), confirmándose a diferentes resoluciones espaciales el intenso calentamiento de toda la región costera norte como se muestra en la Tabla 1.

Con información del punto fijo de alta frecuencia frente al puerto de Malabrigo, ubicado aproximadamente a 16 millas náuticas (7°49'14"S-79°41'24"W) y monitoreado por el Laboratorio de Huanchaco, se observó que desde el 31 de enero se inició el ingreso de aguas cálidas

SST values of the Callao profile (12°S) show that the coastal warming of the sea was mainly in the northern zone from 0° to 11° south, which is recorded in the Hovmöller diagrams at 25, 50, and 100 nautical miles (Fig. 3). In these diagrams, we can also observe that this anomalous warm-up lasted approximately one month.

At zonal scale, by using higher spatial resolution images, a high SST nucleus (>29 °C) between Malabrigo and Salaverry at 80 nm (Fig. 4) was observed in the MUR image (1 km) of 5 March, which was also recorded by the thermal bands of the NPP (750 m) and Landsat 8 (30 m) satellites, confirming at different spatial resolutions the intense warming of the entire northern coastal region as shown in Table 1.

Based on information from the high-frequency fixed point located off the port of Malabrigo, at approximately 16 nautical miles (7°49'14 "S-79°41'24 "W) and monitored by the Huanchaco Laboratory, it was observed that from January 31, warm waters began to enter this point,

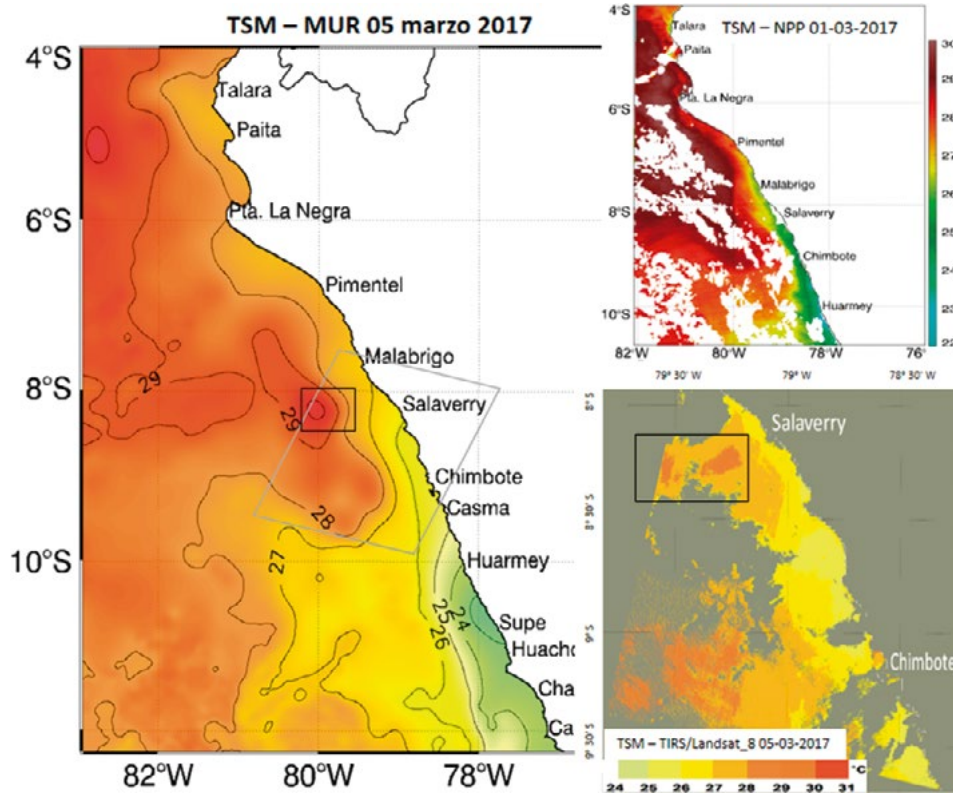


Figura 4.- TSM a diferentes resoluciones espaciales MUR (1 km), NPP (750 m) y Landsat 8 (30 m) que evidencian el calentamiento del mar en la zona norte

Figure 4. SST at different spatial resolutions: MUR (1 km), NPP (750 m), and Landsat 8 (30 m) that show the warming of the sea in the northern zone

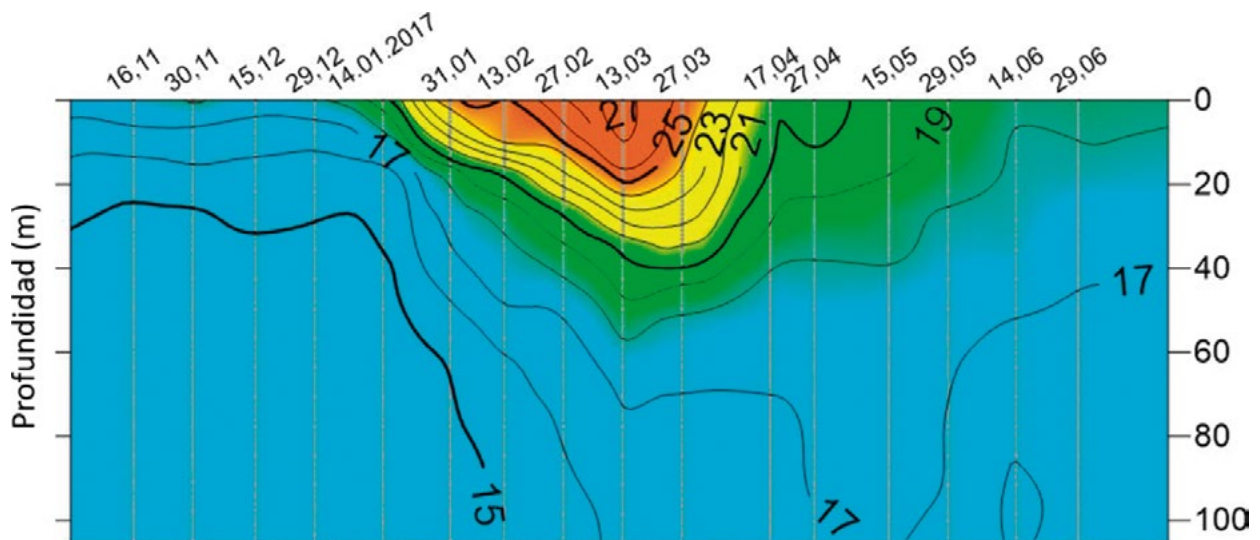


Figura 5.- Perfil de la temperatura de mar en °C de la estación costera de Huanchaco durante El Niño Costero 2017. Fuente: Laboratorio Costero de Huanchaco del IMARPE

Figure 5. Sea temperature profile in °C of the Huanchaco coastal station during El Niño Costero 2017. Source: IMARPE's Coastal Laboratory of Huanchaco

en este punto, llegando a un máximo valor el 13 de marzo con una TSM de 27,3 °C y la profundización de la isoterma de 25 °C hasta 20 m, entre el 13 y 27 de marzo (Fig. 5).

reaching a maximum value on March 13 with an SST of 27.3 °C and the deepening of the isotherm from 25 °C up to 20 m, between March 13 and 27 (Fig. 5).



### Anomalía de la Temperatura Superficial de Mar (ATSM)

Las imágenes mensuales de ATSM en el 2017 muestran que en enero se presentaron condiciones casi-normales frente a la costa peruana. En febrero la zona norte ( $4^{\circ}$ - $9^{\circ}$ S) registro anomalías mayores a  $+2^{\circ}\text{C}$ , mientras que la zona sur mantuvo condiciones neutras. Durante marzo se observó incremento de las anomalías en la zona comprendida desde la frontera norte hasta  $11^{\circ}\text{S}$  (mostrada con líneas punteadas), alcanzando anomalías de  $+4^{\circ}\text{C}$  en toda la región costera desde Paita hasta Chimbote y con un núcleo de  $+5^{\circ}\text{C}$  frente a Trujillo (Fig. 6).

### Sea Surface Temperature Anomalies (SSTA)

SSTA's monthly images in 2017 show that quasi-normal conditions off the Peruvian coast occurred in January. In February, the northern zone ( $4^{\circ}$ - $9^{\circ}\text{S}$ ) recorded anomalies greater than  $+2^{\circ}\text{C}$ , while the southern zone maintained neutral conditions. In March, an increase in anomalies was observed in the area from the northern border to  $11^{\circ}\text{S}$  (shown with dotted lines), reaching anomalies of  $+4^{\circ}\text{C}$  in the entire coastal region from Paita to Chimbote and with a nucleus of  $+5^{\circ}\text{C}$  off Trujillo (Fig. 6).

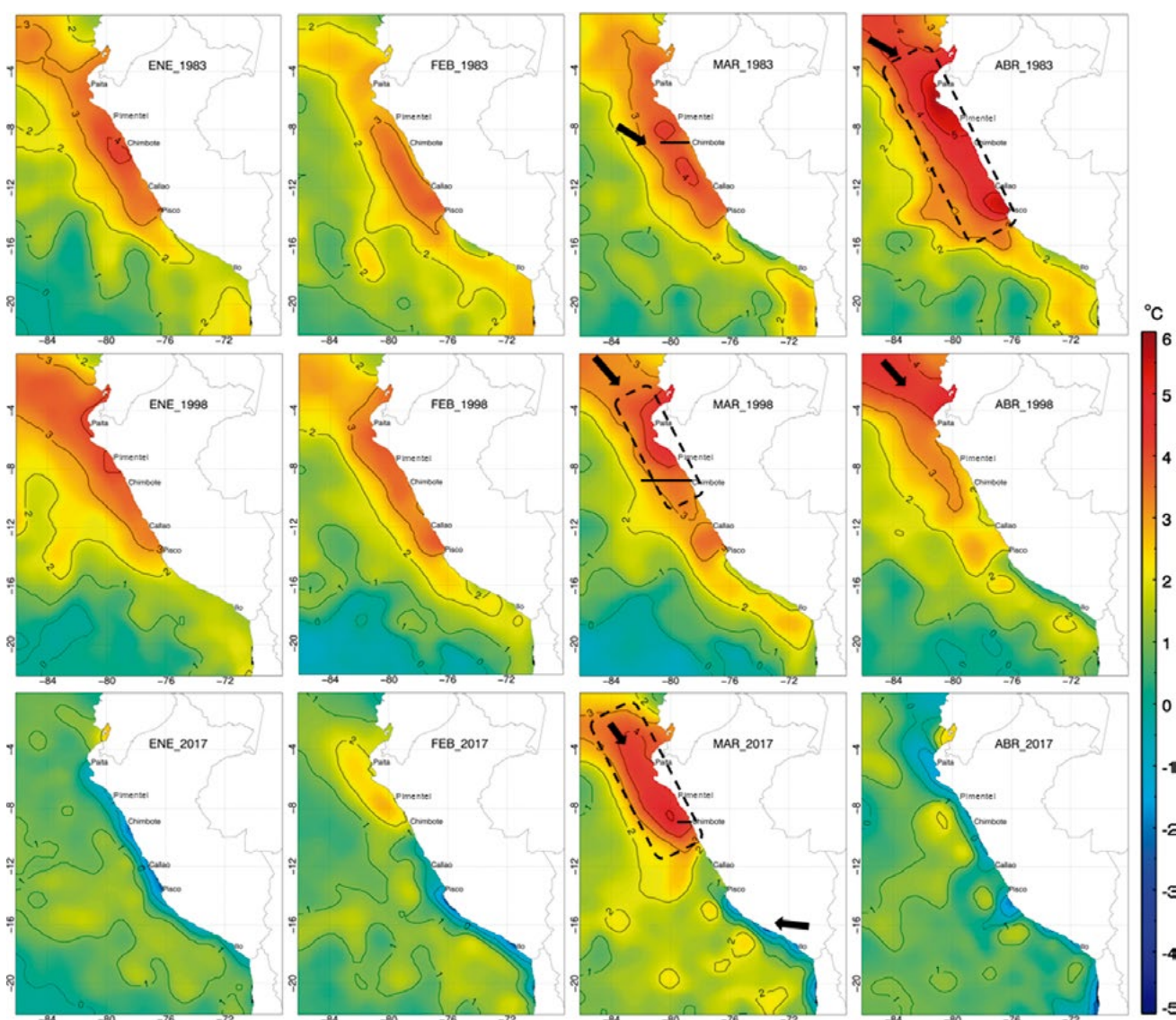


Figura 6.- ATSM mensual en  $^{\circ}\text{C}$  de enero - abril de los periodos El Niño Extraordinario 1982-83, 1997-98 y del Niño Costero 2017. Fuente: AVHRR (OISSTv2)

Figure 6. Monthly SSTA in  $^{\circ}\text{C}$  for January - April periods of The Extraordinary El Niño events of 1982-83, 1997-98 and the El Niño Costero 2017. Source: AVHRR (OISSTv2)

Comparando la ATSM del mes de marzo con los otros periodos de estudio 1982-83 y 1997-98 observamos que en el 2017 las anomalías fueron más intensas; es decir, que durante este mes la costa norte peruana superó las condiciones de un evento Niño Extraordinario.

Posteriormente en abril se observó un rápido descenso de las anomalías en toda la región costera alcanzando valores entre  $-0,5^{\circ}$  a  $-1^{\circ}\text{C}$ . Estos valores indicaron la culminación del evento Niño Costero.

A diferencia de la TSM, que presentó sus máximos valores en marzo durante los tres periodos analizados, la ATSM registró valores máximos en diferentes meses. Esto indica que cada evento "El Niño" presenta diferentes características térmicas temporales como se observa en la figura 6. Anomalías  $>+5^{\circ}\text{C}$  se registraron frente a Paita y también entre Callao y Pisco durante abril de 1983, mientras que toda la región centro-norte presentó anomalías de  $+4,5^{\circ}\text{C}$ . La ATSM durante marzo de 1998 fue mayor a  $+4^{\circ}\text{C}$  entre  $2^{\circ}$  y  $8^{\circ}\text{S}$ ; sin embargo, durante enero la costa norte también presentó altas anomalías positivas (Fig. 6).

Los registros diarios de la serie de tiempo de ATSM en la zona norte y la región Niño 1+2 mostraron que el calentamiento del mar tuvo dos impulsos con pendientes positivas que se iniciaron el 14 de febrero, alcanzando los niveles de los eventos Niño Extraordinario desde el 19 de febrero, y el segundo impulso desde el 5 de marzo (identificados por las flechas), el cual superó el valor histórico de las anomalías (del 11 al 22 de marzo). A partir del 23 de marzo la ATSM disminuye rápidamente hasta tener valores neutrales de  $0^{\circ}\text{C}$  (13 abril 2017), lo que demuestra que el calentamiento del mar solo fue del tipo zonal (Fig. 7).

En los diagramas de Hovmöller de ATSM a 25, 50 y 100 millas náuticas de la costa (Fig. 8) se observaron que los valores mayores a  $+5^{\circ}\text{C}$  (áreas interlineadas) se localizaron entre los puertos de Malabrigo ( $7^{\circ}41'\text{S}-79^{\circ}26'\text{W}$ ) y Huarmey ( $10^{\circ}05'\text{S}-78^{\circ}10'\text{W}$ ). Es importante indicar que las anomalías más altas se registraron a 50 mn.

A pesar del incremento de la anomalía en la región costera en febrero, la región oceánica

If we compare the March SSTA with the other study periods in 1982-83 and 1997-98, we can observe that in 2017 the anomalies were more intense; which means that during this month the Peruvian northern coast surpassed the conditions of an Extraordinary El Niño event.

Afterwards, in April, a rapid decrease in anomalies was observed throughout the coastal region, reaching values between  $-0.5^{\circ}$  to  $-1^{\circ}\text{C}$ . These values indicated the culmination of the El Niño Costero event.

Unlike the SST, which presented its maximum values in March during the three analyzed periods, the SSTA registered maximum values in different months. This indicates that each "El Niño" event has different temporal thermal characteristics as shown in Figure 6. Anomalies  $>+5^{\circ}\text{C}$  were recorded off Paita and also between Callao and Pisco in April 1983, while the entire north-central region showed anomalies of  $+4.5^{\circ}\text{C}$ . SSTA in March 1998 was higher at  $+4^{\circ}\text{C}$  between  $2^{\circ}$  and  $8^{\circ}\text{S}$ ; however, in January the northern coast also showed high positive anomalies (Fig. 6).

The daily records of the SSTA time series in the northern zone and the Niño 1+2 region showed that the warming of the sea had two positive slope impulses that began on February 14, reaching the levels of the Extraordinary El Niño events from February 19, and the second impulse from March 5 (identified by the arrows), which exceeded the historical value of the anomalies (from March 11 to 22). As of March 23, SSTA rapidly drops to neutral values of  $0^{\circ}\text{C}$  (April 13, 2017), which shows that the warming of the sea was only of the zonal type (Fig. 7).

In the Hovmöller diagrams of SSTA at 25, 50, and 100 nautical miles from the coast (Fig. 8) it was observed that values greater than  $+5^{\circ}\text{C}$  (line spacing areas) were located between the ports of Malabrigo ( $7^{\circ}41'\text{S}-79^{\circ}26'\text{W}$ ) and Huarmey ( $10^{\circ}05'\text{S}-78^{\circ}10'\text{W}$ ). It is worth noting that the highest anomalies were recorded at 50 nm.

Despite the increase of the anomaly in the coastal region in February, the oceanic region



presentó en promedio valores de +1°C, dichas condiciones térmicas no daban indicios del desarrollo de un evento El Niño. Sin embargo, el rápido incremento de la TSM en la zona costera norte durante marzo originó el desarrollo de un evento Niño Costero, un evento que tampoco fue pronosticado por las agencias internacionales y que deja como reto a la comunidad científica realizar investigaciones de eventos climáticos a escalas zonales.

presented on average values of +1°C, these thermal conditions gave no indication of the development of an El Niño event. Nonetheless, the rapid increase of the SST in the northern coastal zone in March led to the development of an El Niño Costero event, an event that was also not predicted by international agencies and that leaves it as a challenge for the scientific community to carry out research on climate events at zonal scales.

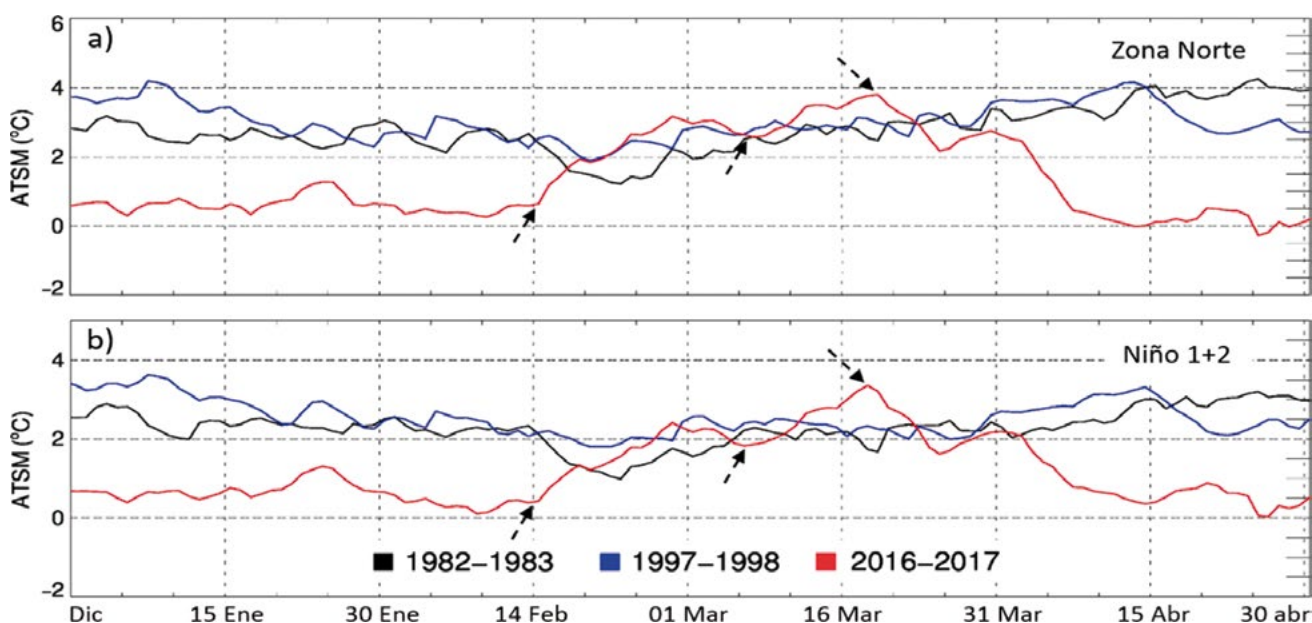


Figura 7.- Serie de tiempo diaria de la ATSM en °C enero-abril de los periodos 1982-83, 1997-98 y 2017: (a) zona norte (0°-8°S, 86°W-79°W) y (b) región niño 1+2 (0°-10°S, 90°W-80°W). Fuente: AVHRR (OISSTv2)

Figure 7. SSTA daily time series in °C for January-April periods of 1982-83, 1997-98 and 2017: (a) northern zone (0°-8°S, 86°W-79°W) and (b) El Niño 1+2 region (0°-10°S, 90°W-80°W). Source: AVHRR (OISSTv2)

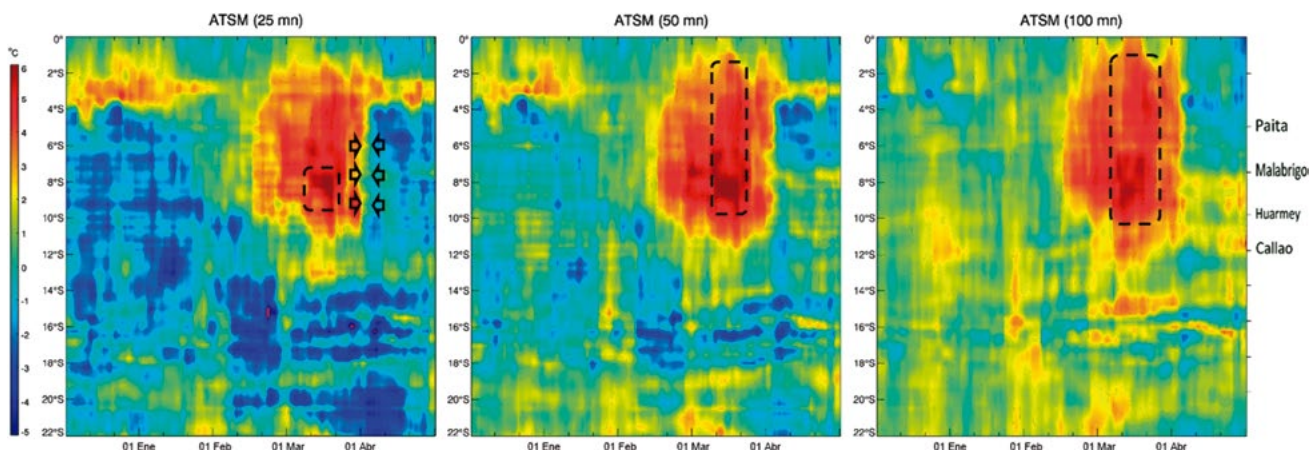


Figura 8.- Diagrama de Hovmöller de la ATSM a 25, 50 y 100 millas náuticas desde la costa, desde diciembre hasta abril del 2017. Fuente: AVHRR (OISSTv2)

Figure 8. Hovmöller diagram of SSTA at 25, 50 and 100 nautical miles from the coast, from December to April 2017. Source: AVHRR (OISSTv2)

### Intensidad y dirección del viento

La intensidad y dirección del viento (m/s) fue muy variable en el área de estudio, observándose que desde diciembre 2016 hasta el 20 de enero del 2017 se registraron vientos débiles ( $<4$  m/s) en la zona comprendida entre  $5^{\circ}$  y  $9^{\circ}$ S (rectángulo de líneas punteadas), posteriormente dicha zona con vientos débiles se extendió entre  $0^{\circ}$  y  $11^{\circ}$ S presentando inclusive vientos de  $<1$  m/s durante los primeros días de febrero, tal como se observa en los diagramas de Hovmöller a distancias de 50 mn y 100 mn (Fig. 9), lo cual favoreció el avance hacia la costa de masas de Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) y el posterior calentamiento superficial del mar.

A partir de la tercera semana de marzo la velocidad de viento se incrementó  $>6$  m/s a lo largo de la costa, lo cual coincidió con el descenso de la TSM por debajo de los  $4^{\circ}$ S. La intensidad de los vientos ( $>7$  m/s) durante los primeros días de abril fue determinante en el fin del evento El Niño Costero.

### Wind intensity and direction

The intensity and direction of the wind (m/s) were very irregular in the study area and it was observed that from December 2016 to January 20, 2017, weak winds ( $<4$  m/s) were registered in the area between  $5^{\circ}$  and  $9^{\circ}$ S (dashed line rectangle). Later on, this weak wind-zone was extended between  $0^{\circ}$  and  $11^{\circ}$ S with winds of  $<1$  m/s in early February, as can be seen in Hovmöller diagrams at distances of 50 nm and 100 nm (Fig. 9), which favored the approximation towards the coast of Surface Equatorial Water (SEW) masses and the following surface warming of the sea.

As of the third week of March, the wind speed increased  $>6$  m/s along the coast, which coincided with the decrease of the SST below  $4^{\circ}$ S. The wind intensity ( $>7$  m/s) in early April was a determining factor at the end of the El Niño Costero event.

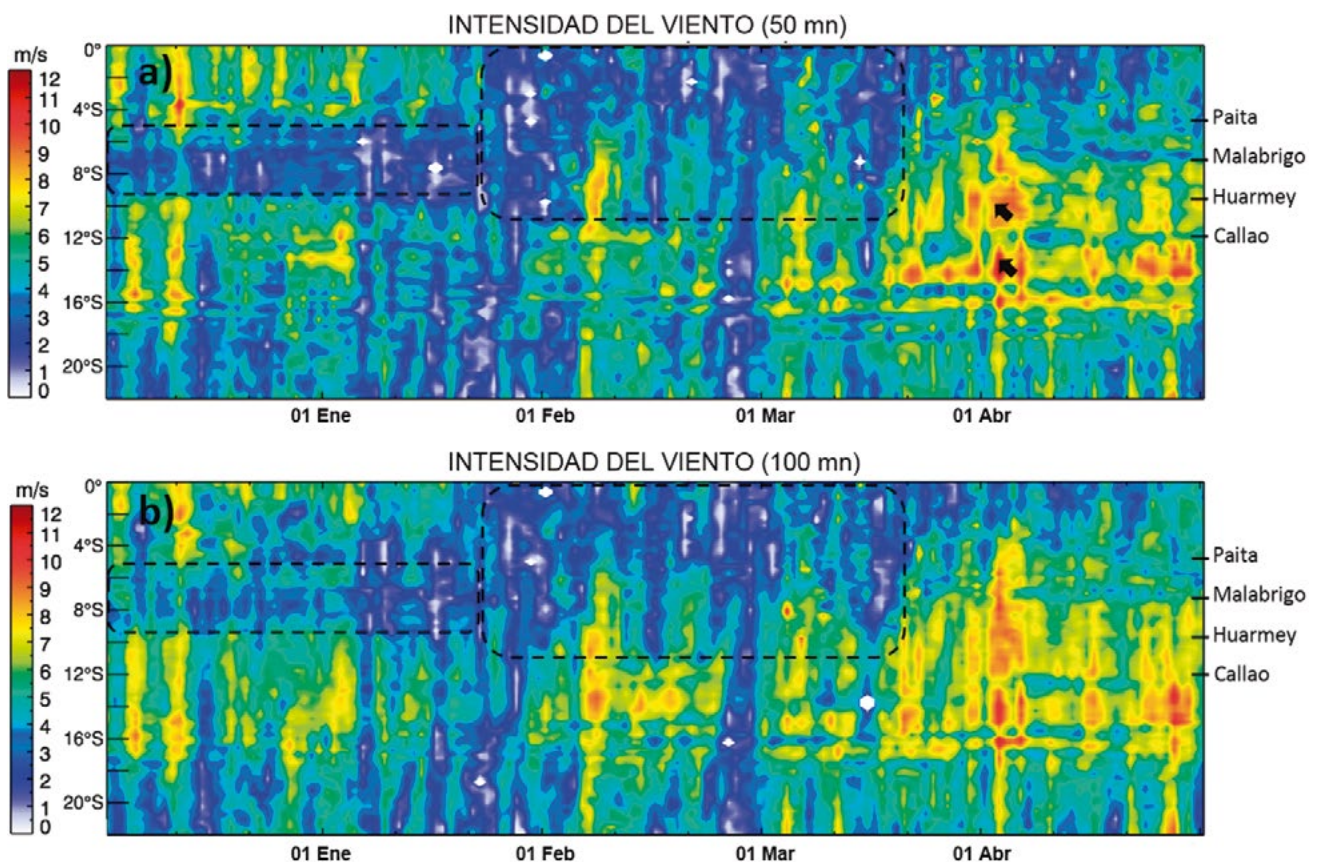


Figura 9.- Diagramas de Hovmöller de intensidad del viento a) 50 mn y b) 100 mn de la costa, desde diciembre 2016 a abril del 2017. Fuente: ASCAT

Figure 9. Hovmöller diagrams of wind intensity a) 50 nm and b) 100 nm from the coast, from December 2016 to April 2017. Source: ASCAT

#### 4. CONCLUSIONES

La TSM y ATSM durante enero e inicios de febrero del 2017 presentaban condiciones cuasi normales en la costa norte; sin embargo, desde el 14 de febrero las condiciones ambientales cambiaron drásticamente, lo que dio origen al evento Niño costero, el cual tuvo una corta duración de aproximadamente un mes.

La distribución espacial de la ATSM en marzo del 2017 presentó características de un evento Niño Extraordinario, superando inclusive los valores históricos a mediados de marzo con anomalías de +4 °C en toda la región costera desde Paita hasta Chimbote y núcleos de +5 °C frente a Trujillo.

Desde diciembre del 2016 hasta inicios de febrero del 2017 se registró una baja intensidad de los vientos superficiales en la zona comprendida entre 4°S y 12°S, cuya área se expandió hacia el norte presentando vientos con intensidades <4 m/s los cuales influenciaron en la persistencia del calentamiento del mar en la costa norte durante el mes de marzo.

El "Niño Costero 2017" se caracterizó por un rápido cambio de las condiciones oceanográficas y atmosféricas, prueba de ello son los registros históricos de la temperatura superficial de mar (>29 °C) y su anomalía térmica en el mes de marzo (>+5 °C).

El análisis de los principales parámetros satelitales monitoreados de diciembre a abril muestran la magnitud del evento El Niño Costero 2017 y su impacto en la región costera norte; sin embargo, se requiere un monitoreo *in situ* de mayor frecuencia que permita la detección temprana de un evento de estas características.

#### 4. CONCLUSIONS

In January and early February, the SST and SSTA had quasi-normal conditions on the north coast; however, since February 14, the environmental conditions changed drastically, which gave rise to the El Niño Costero event, which had a short duration of approximately one month.

In March 2017, the spatial distribution of SSTA presented characteristics of an Extraordinary El Niño event, which exceeded the historical values in mid-March with anomalies of +4 °C in the entire coastal region from Paita to Chimbote and nuclei of +5 °C off Trujillo.

From December 2016 until early February 2017, there was a low intensity of surface winds in the area between 4°S and 12°S, whose area expanded northward presenting winds with intensities <4 m/s which influenced the persistence of sea warming in the north coast in March.

The "El Niño Costero 2017" was characterized by a rapid change in oceanographic and atmospheric conditions, as evidenced by historical records of sea surface temperature (>29 °C) and its thermal anomaly in March (>+5 °C).

The analysis of the main satellite parameters, that were monitored from December to April, shows the magnitude of El Niño 2017 and its impact on the northern coastal region; although more frequent *in situ* monitoring is required to allow early detection of such event.

#### 5. REFERENCIAS / REFERENCES

- DI LIBERTO T. 2017. Heavy summer rains flood Peru. NOAA Climate Gov. Recuperado de <https://www.climate.gov/news-features/event-tracker/heavy-summer-rains-flood-peru>.
- ENFEN. 2012. Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú. Nota Técnica ENFEN 01-2012. [http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe\\_infcto\\_nota\\_tecnico\\_abril2012.pdf](http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_infcto_nota_tecnico_abril2012.pdf)
- ENFEN. 2017. Comunicado Oficial ENFEN 04-2017 (15 de febrero). [http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe\\_comenf\\_comunicado\\_oficial-042017.pdf](http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_comenf_comunicado_oficial-042017.pdf)
- NOAA. 2003. NOAA gets U.S. consensus for El Niño / La Niña index definition. <http://www.noaanews.noaa.gov/stories/s2095.htm>
- REYNOLDS R W, SMITH T M, LIU C, CHELTON D B, CASEY K S, SCHLAX M G. 2007. Daily High Resolution Blended Analysis for Sea Surface Temperature. J. Climate. 20: 5473 - 5496.
- TAKAHASHI K, MARTINEZ A G. 2017. The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. Climate Dynamics International Journal. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3702-1>.